# JAXA's

［ジャクサス］October 2015
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構機関誌
No.062

JAXA's No.062
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構機関誌

CONTENTS



表紙画像:宇宙へ飛び立つH3(イメージ図)

INTRODUCTION

新しい日本の基幹ロケットの名称もH3と決定し、現在は基本設計を行っています。今号ではこのH3を特集しておりますので、どんな特徴のあるロケットになりそうかご覧ください。また、「こうのとり」5号機も無事に荷物をISSに届け、ISSの運用と利用も順調に進められることとなり、日本の技術力やチームワーク力を世界に示すことができました。さらに、宇宙探査ではどんな日本の力を示すことができるか、宇宙探査イノベーションハブの意気込みも聞きました。航空機の分野ではエンジンを使わず、電気の力で飛ぶ新しい技術を紹介します。2009年に打上げた「いぶき」が温室効果ガスの観測を続けてきた結果についてもインタビューしました。これに続く温室効果ガス観測衛星も開発中です。研究分野では、昆虫にヒントを得た面白い推進システム技術について紹介します。

JAXA'sでは、
JAXAが取り組む3つの分野での活動を
ご紹介しています。
1 安心・安全な社会を目指す「安全保障・防災」
2 宇宙技術を通して日本の産業に貢献する「産業振興」
3 宇宙の謎や人類の活動領域の拡大に挑む
「フロンティアへの挑戦」です。

安全保障 防災
産業振興
フロンティアへの挑戦



# 2020年:H3ロケットの目指す姿

（H3：エイチスリー）

日本の新しい基幹ロケットH3の開発プロジェクトがいよいよ始動しました。2020年以降の日本の宇宙開発活動を支えるH3は、国際競争力をもち、事業としても確立できるロケットを目指しています。
宇宙活動の自律性確保に欠かせないキー技術や地上設備は、JAXAが中心となって開発を進めます。一方、商業打ち上げ市場でより競争力をもったシステムとする目的で、ロケットシステムは三菱重工業(MHI)によるプライム体制で開発し、運用段階でのMHIによる打ち上げサービス体制へのスムーズな移行を目指しています。
H3の岡田匡史プロジェクトマネージャ、そしてH3プロジェクトチームの皆さんにH3開発への抱負を語ってもらいました。

取材:寺門和夫(科学ジャーナリスト)

フロンティアへの挑戦
産業振興
安全保障 防災

## 誰もが手軽に安心して使えるロケットを目指す

岡田匡史
OKADA Masashi
第一宇宙技術部門
H3プロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ

――H3とは、どのようなロケットですか。

**岡田** 「手軽に、安心して使えるロケット」「世界中の人たちが使いたくなるロケット」とすることが私たちの狙いです。世界でトップクラスの信頼性をもち、コストが安い。そして衛星打ち上げの世界市場で競争力をもつロケットです。そのため、私たちはこのロケットをどのように使ってゆくか、つまり運用のコンセプトから検討をはじめました。ロケットの打ち上げ能力や構成もそうですし、受注から打ち上げまでの期間短縮や打ち上げ間隔半減による打ち上げ機会の拡大といった柔軟な打ち上げサービスを提供することも、すべて顧客の声を第一に考えることから決められてきたものです。この考え方はロケット本体だけでなく、工場での製造工程や射場での運用にまで及んでいます。

――試験機1号機の打ち上げは2020年の予定です。現在はどのような段階ですか。

**岡田** 現在は基本設計の段階です。ロケットのアーキテクチャ、すなわち全体の構成を決める段階で、今が一番大事なところです。その後、詳細設計に入ります。スケジュールはかなりタイトなので、今回の開発では、想定されるリスクを設計段階で徹底的に洗い出して解決しておく方法をとっています。

H3ロケットは日本の将来の宇宙開発を支えるロケットです。日本のロケット技術を集大成し、日本の得意分野の技術を融合させたロケットを目指します。そのため、色々な人の知恵を借りながら、このロケットを実現したいと思っています。開発の山場はこれから何度もやってくるでしょう。その時にも、企業の方々と共にチームのパワーを最大限に発揮できるよう頑張ります。

| N-Ⅰ | NⅡ | H-Ⅰ | H-Ⅱ | H-ⅡA | H-ⅡB | H3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1975〜1981年 | 1981〜1987年 | 1986〜1992年 | 1994〜1999年 | 2001年〜 | 2009年〜 | |
| アメリカのデルタロケットの技術を導入し開発した3段式ロケット。 | N-Ⅰ および N-Ⅱ 開発の成果を受けて開発された3段式ロケット。第2段エンジン(LE-5)および推進系、第3段固体ロケットモータ、慣性誘導装置を自主技術により開発した。 | 全段自主技術による2段式ロケット。第1段には新たに開発した大型で高性能のLE-7エンジンを、第2段にはH-Ⅰで開発したLE-5エンジンをさらに高性能、高信頼化したLE-5Aエンジンを採用。 | 現在、日本の主力大型ロケットとして用いられている。純国産ロケットH-Ⅱで培われた技術をもとに開発され、多様な人工衛星・探査機の打ち上げを高い信頼性と低コストで行うことができる。 | H-ⅡAの打ち上げ能力を高めた大型ロケット。現在、国際宇宙ステーション(ISS)へ物資を輸送する宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)の打ち上げに使われている。 | | |

エイチスリー

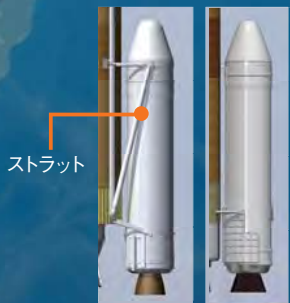
# H3 Launch Vehicle

**H3ロケットは全長約63m、コアロケット直径約5.2mの2段式ロケット。第1段には新型エンジンLE-9を2基または3基使用。打ち上げ能力は、地球観測衛星などに用いられる高度500kmの太陽同期軌道に4t以上、静止軌道に衛星を投入するための静止トランスファ軌道に6.5t以上を目指している。**

## 固体ロケットブースタ(SRB-3)

SRB、SRB-Aに続く第3世代の固体ロケットブースタ(SRB-3)として開発する。直径等の基本的な概形はSRB-Aを踏襲しつつ、シンプルな構造で推力を発生できる固体ブースタの特徴をさらに引き出す。SRB-Aの更なる簡素化を重視して、コア機体との結合箇所の削減や可動ノズルの固定化等の仕様の工夫、製造の自動化や工程のライン化等の物づくりの工夫に取り組み、信頼性向上と低コスト化を目指す。

### シンプルな分離機構

H-ⅡAやH-ⅡBでは固体ロケットブースタの分離機構に「スラスタ・ストラット」という斜めの支柱を用いていたが、H3ではストラットのないシンプルなものとした。

## 改良型2段エンジン(LE-5B-3)

2段機体の大型化に伴いフライト中の運転時間がH-ⅡAの534秒から740秒と長くなるため、液体水素ターボポンプを改良し、エンジンの耐久性を向上する。また、高温の水素ガスと低温の液体水素を混合するミキサーを改良し、エンジンの燃費性能の向上を目指す。

## 新型1段エンジン(LE-9)

真空中推力150トン×2基/3基。燃焼室圧力10MPa。
日本の液体ロケットエンジン歴代最大の推力を発生する。H-ⅡAの第2段エンジンに使われているエキスパンダブリードサイクルを適用することにより、部品点数の削減を図り、高い信頼性と低い製造コストを両立。日本の第1段エンジンとして初めて推力可変機能(スロットリング)を持つ。
推進薬:液体酸素/液体水素

## JAXAのロケットエンジンの進化

H-Ⅱでは、第1段エンジンとして、2段燃焼サイクルを適用した高性能な大型7エンジンLE-7を開発。第2段エンジンとして、日本が世界で初めて実用化に成功したエキスパンダブリードサイクルを適用したLE-5Aエンジンを開発。
H-ⅡA/Bでは、1段/2段エンジンともに改良を行い、信頼性の向上と低コスト化を実現。LE-7A/5B(-2)エンジンともに、これまでの打ち上げにおいてエンジンとしての成功率は100%を誇り、欧米と同等以上の技術水準に到達。
これまでの開発を通して見えてきた、エキスパンダブリードサイクルのもつシンプル・本質安全といった特長に着目し、高圧化・大推力化の実現性をLE-Xエンジンで確認。H3では、第1段・2段ともに本サイクルを採用。

# 日本のロケット技術の新しい挑戦

LE-Xエンジン燃焼器単体試験(上)
第1段エンジン:LE-9(左)

**高い信頼性を確保しながら抜本的なコスト低減を実現し、顧客に柔軟なサービスを提供する。**

## これまでとは違った考え方でロケットを開発する

森茂
MORI Shigeru
第一宇宙技術部門
H3プロジェクトチーム
主任開発員
プロジェクト・マネージメント担当

私の担当はプロジェクト・マネージメントで、プロジェクト全体のお金とスケジュールを管理しています。H3ロケットの開発の仕方はこれまでと違い、「事業」として開発することを目指しています。ロケットが完成すればいいというわけでなく、それをどのように運用していくか、どうやって世界に打って出るかを考えているわけです。H3の第1段はエンジンが2基と3基のものがあり、これに固体ロケットブースタ0本、2本、4本の組み合わせがあります。こうした構成も、顧客に柔軟なサービスを提供し、年間何本ものロケットを打ち上げられるように考え出されたものです。ミッションごとのオプションはなくし、標準品ですべての打ち上げに対応していきます。

限られた予算の中で、決められたスケジュール通りに開発する必要がありますし、打ち上げや運用のコストも要求が決められています。あちらを立てればこちらが立たずといったことが多くあります。それをうまく解決していくことが私の仕事で一番難しいところです。

このロケットの開発を絶対成功させなくてはいけないという気持ちで取り組んでいます。開発にはたくさんの人たちが参加します。関係者の皆さんがやりやすい環境で仕事をしていただけるようにしていきたい。日本の技術力を結集していいものを作り上げたいと思っています。

## ロケットに皆の魂をこめることが私の仕事

大久保真也
OKUBO Shinya
第一宇宙技術部門
H3プロジェクトチーム
主任開発員
総合システム担当

私は総合システムといって、H3ロケット全体をみています。H3ロケットが「ミッション要求」に合致するよう、全体のシステムをまとめ上げていくシステムズ・エンジニアリングが仕事です。ミッション要求では、静止トランスファ軌道に6.5t以上、太陽同期軌道に4t以上といった能力のほかに、海外でも売れるロケットとするため打ち上げコストを安くすることが求められています。また、地上施設の維持コストも低減させなくてはなりません。ミッション要求を達成するために必要な機能をロケット機体や地上のどこに配分するのが良いかを総合的に考えて、開発を進めていきます。

H3は大きな構想が出来上がり、基本設計に入ったところです。ロケットをどのような仕様にすればよいか、どのように製造していくかを決めていく段階にあります。また、開発にともなうリスクを早い段階で抽出して手を打つ必要もあります。

「次期基幹ロケット」とよばれた頃からの長い検討期間を経て、H3ロケットはシンプルで信頼性が高く、海外の衛星も受注できるロケットとして姿をあらわそうとしています。H3ロケットに皆の魂をこめることが、私の仕事だと思っています。

## シンプルかつ安価なエンジンを開発

黒須明英
KUROSU Akihide
第一宇宙技術部門
H3プロジェクトチーム
主任開発員
1段エンジン担当

H3ロケットに使われる新型エンジンLE-9を一言でいうと、シンプルで、なおかつ安いエンジンということができます。現在H-ⅡAやH-ⅡBの第2段に使われているLE-5Bエンジンがベースになっています。燃焼室内の圧力を約3倍とし、推力を約10倍に上げるため、LE-5Bに比べて全体的に大きくなっています。

このエンジンは「エキスパンダブリードサイクル」という方式を採用しています。水素ガスを燃焼室の冷却に使って200℃くらいにまで温度を上げ、そのガスで燃焼室に推進薬を送るターボポンプをまわします。H-ⅡAやH-ⅡBの第1段に使われているLE-7Aエンジンでは燃焼したガスでターボポンプをまわす「二段燃焼サイクル」が使われています。LE-7Aに比べて、LE-9では構造がシンプルになり、部品数は20%くらい減ります。その分、信頼性は高くなり、一方コストは安くなります。製造工程の自動化や工程数の削減も検討しています。

JAXAでは2005年から約10年間、このエンジンの技術実証を行うLE-Xエンジンの研究を進めてきました。2014年の冬には燃焼試験を行い、そこで取得したデータを基に設計を行っています。LE-9はこれから実際の設計・製造に入っていきます。スケジュールがかなり厳しいですが、LE-Xの研究によって、すでに準備はできていると思います。

LE-9エンジンは、H3ロケットの命運を握っているといえます。それだけに責任は大きいですが、その分、やりがいも感じています。国民の皆様に胸が張れるエンジンを完成させたいと思います。

## シンプルさを追求し、低コストの固体ロケットブースタ実現をめざす

和田英一
WADA Eiichi
第一宇宙技術部門
H3プロジェクトチーム
開発員
固体ロケットブースタ担当

H3に適用する改良型固体ロケットブースタの開発を一言でいうと、シンプルさの追求になります。見た目はH-ⅡAやH-ⅡBロケットのSRB-Aとほぼ同じですが、中身は大きく変えていく予定です。

シンプルさを追求した特徴の1つに、ロケット本体からの分離機構があります。SRB-Aでは、小さな固体ロケットである分離モータの推進力と、ブースタを確実にロケットから遠ざけるストラットを使用した、非常に優れた分離機構を採用しています。技術的な問題は何もありませんが、複雑な構成のためロケット本体との切断部がブースタ1本あたり6個所あり、製造や種子島でのロケットへの組み付け作業にコストがかかっています。H3用ブースタでは、切断部を3個所に減らした上で、そこに小さな火薬ガス式のアクチュエータを仕込むことで分離モータも削減する計画です。さらに、従来は2本のストラットが担っていたブースタの推力をロケット側に伝える働きも、ブースタからロケット側に向けて挿し込むピン1本で伝える仕組みを目指します。

低コスト、量産化をめざしていますので、製造面では工場のレイアウト変更も視野に入れた最適な製造方法を考えています。その他、固体推進薬はこれまでと同じコンポジット推進薬を使いますが、製造時の温度条件を最適化して製造期間を短縮する工夫をします。

固体ロケットブースタはH3ロケットの縁の下の力持ちだと自負しています。H3ロケットが世界で競争力を持つロケットになるよう、低コストで良い固体ブースタを開発することが私の使命と思って取り組んでいます。

## 衛星にとって世界トップクラスの快適な乗り心地を実現

寺島啓太
TERASHIMA Keita
第一宇宙技術部門
H3プロジェクトチーム
主任開発員
構造系開発担当

ロケットの構造の開発を担当しています。液体水素と液体酸素のタンク、それらのタンクをつなぐ中央部、1段目と2段目をつなぐ段間部、衛星を保護するフェアリングなどの構造です。H3ではまったく新しい構造様式を使うことはありません。これまでの経験を踏まえて、どうやって低コストの構造をつくるかの工夫をしています。素材自体の低コスト化や製造工程の自動化なども検討しています。固体ロケットブースタの分離機構の開発も構造系担当として行っています。

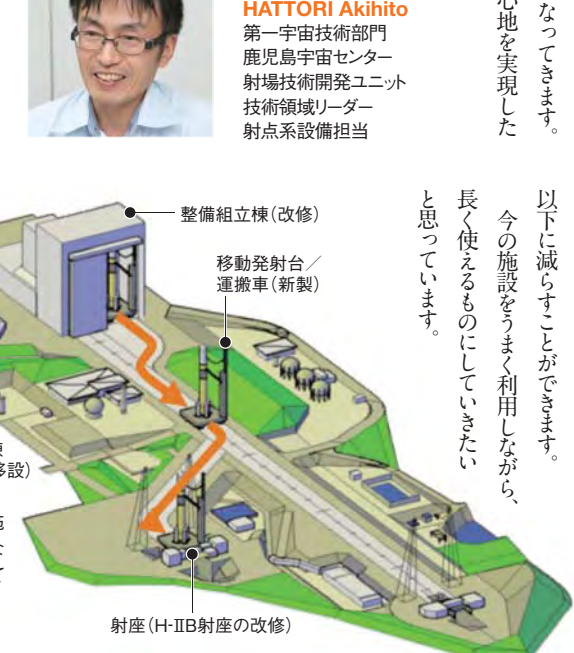
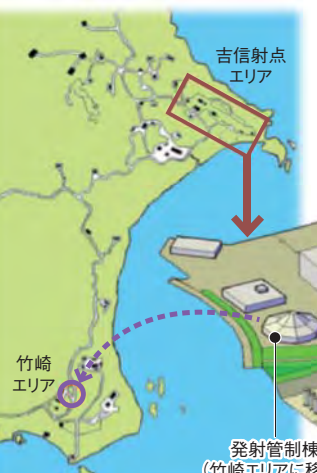
衛星に快適な乗り心地を提供するのも私の担当です。そのためロケット上昇時の音響や振動および分離時の衝撃を、これまでよりも衛星に伝わらないようにする対策が必要です。これは海外の衛星の打ち上げを受注する際にとても大事になってきます。世界のトップレベルの乗り心地を実現したいと考えています。

## 種子島宇宙センターでの作業日数を半分に短縮

服部昭人
HATTORI Akihito
第一宇宙技術部門
鹿児島宇宙センター
射場技術開発ユニット
技術領域リーダー
射点系設備担当

H3ロケット打ち上げのためには、種子島宇宙センターの射場設備を新しくしたり、改修したりする必要があります。ロケットの整備組立棟(VAB)は改修して使います。H3ロケットを射座まで運ぶ移動発射台や運搬車は新しいものになります。射座は現在のH-ⅡBの射座を改修して使います。液体水素や液体酸素を貯蔵・供給する施設は今のものをそのまま使います。

サービスの迅速化や打ち上げコスト低減のために、打ち上げ間隔をH-ⅡAロケットから半減するのが、私たちの大きな目標です。打ち上げ時の整備作業を短縮し、次の打ち上げまでの日数を短縮しなければなりません。そのため、機体組立の簡素化や自動点検のシステムも取り入れます。また、発射管制を3km以上離れた竹崎エリアから行えるようにします。これによって、打ち上げ当日の運用者を今の3分の1から4分の1以下に減らすことができます。

今の施設をうまく利用しながら、長く使えるものにしていきたいと思っています。



H3ロケットの射場は、現在の施設をうまく利用しながら、必要なものだけを新しくしたり、改修して用いる。

# 「きぼう」の利用は、いよいよ収穫期に

## 研究成果を社会に役立て、将来の宇宙探査技術を開発していきたい

**国際宇宙ステーション（ISS）の「きぼう」日本実験棟では、これまでさまざまな実験が行われてきました。JAXAでは「きぼう」利用の強化をはかり、国の科学技術戦略への貢献や産業競争力の強化、民間の宇宙利用の拡充などを目指します。また、将来の有人宇宙探査のための研究開発にも取り組みます。「きぼう」利用の新たな方向性を、浜崎敬理事に聞きました。**

取材：寺門和夫（科学ジャーナリスト）


浜崎 敬
HAMAZAKI Takashi
宇宙航空研究開発機構理事
有人宇宙技術部門長


### チームジャパンでISSの物資を輸送

――油井亀美也宇宙飛行士がISSに長期滞在中です。「こうのとり」5号機による物資輸送も成功しました。

**浜崎**　「こうのとり」5号機は、昨年来アメリカやロシアの輸送船の打ち上げがうまくいかない中、ISSに欠かせない水や部品を運ぶ緊急度が非常に高い打ち上げになりました。ISS計画に参加している各国の期待に応えられたと思います。日本の技術と信頼性の高さを世界に示すことができました。また、「こうのとり」のキャプチャーに象徴されるように、チームジャパンの総合力も示すことができました（10～11ページ）。

――油井さんも軌道上で活躍していますね。

**浜崎**　油井さんは訓練に対して非常に真面目な人で、基準を満たしただけでは物足りず、自分では必要のない高いレベルの試験まで申し出てチャレンジして、それを楽々こなしていたということをロシアで聞きました。ロシア語も堪能で、非常に努力をしたのだと思います。軌道上でも忙しい中、ツイッターでたくさんの情報発信をしています。今後、いろいろな実験の成果が出てくると思います。

### 「きぼう」の利用を方向転換

――「きぼう」の利用も新しいフェーズに入りつつありますね。

**浜崎**　「きぼう」には長い歴史があります。NASAからISS計画に参加しないかという声がかかったのが1982年。「きぼう」が完成したのは2009年です。実際のところ、これまでは「きぼう」をちゃんと作り、宇宙飛行士を安全に送り、きちんと活動してもらうのが精いっぱいというところでした。宇宙実験についても初めてのことばかりで、手探りで成果を積み上げてきたわけです。いろいろな意味で探索フェーズでしたが、いよいよ成果が期待できる収穫期にきていると認識しています。そこで、「きぼう」の利用の仕方を方向転換しようと考えています。

――どのように変えていくのでしょうか。

**浜崎**　国は科学技術イノベーション戦略を強力に推進しています。そのような戦略に合っているもの、あるいは各企業で製品化の可能性があり、宇宙実験が有効なもの、そういった実験に力を入れていこうと考えています。それによって、従来に比べて、はるかに早い段階で大きな成果が出ると期待しています。

――今後重点的に行っていく実験の例をお話し下さい。

**浜崎**　1つの例としては、創薬のためのタンパク質結晶生成実験があります。宇宙では欠陥の少ない大きな結晶をつくることができ、これを地上で解析すれば、タンパク質の詳細な構造を知ることができます。これまでの薬品開発はたくさんの化学物質を動物に処方して効き目を調べるという試行錯誤型の方法でしたが、最近はタンパク質の構造を調べて薬を設計する方法が主流になりつつあります。JAXAのタンパク質結晶生成実験はまさにそのプロセスに直接お役に立てるものと考えています。JAXAの装置では288本のサンプルを同時に実験できます。お客様からサンプルをあずかり、宇宙で結晶をつくり、これを持ち帰ってSpring-8などで解析して解析データをお渡しするのに今は約10ヶ月かかっていますが、これを今後は、3～5ヶ月程度に短縮してスピードアップを図ります。

タンパク質の結晶生成実験は1992年に毛利さんが初めて宇宙を飛ぶ前から有望な分野だといわれ、各国が取り組んだのですが、なかなか成果が出ませんでした。しかしJAXAはコツコツと実績を積み上げ、成果を出してきました。長い間の努力がようやく実を結びつつあり、最近は海外も注目しています。

――今度ISSに運ばれた小動物飼育装置についてはいかがですか。

**浜崎**　「きぼう」ではいろいろな細胞や線虫などを使って科学実験を行ってきましたが、今後、人間の健康維持や医療への応用を考えると、マウスでの実験が必須になってきます。宇宙でマウスを長期間飼育できるこの装置は、微小重力および1Gの環境での対照実験ができます。他の国にない装置で、いろいろな予防薬や治療薬の効果を調べることなどに利用できます。

### 国際社会への貢献を目指す

――日本人宇宙飛行士の宇宙滞在時間はロシア、アメリカに次いで世界第3位になりましたね。

**浜崎**　若田さんのようにコマンダーを務める宇宙飛行士もでてきました。これは日本人宇宙飛行士の能力が高いだけでなく、宇宙飛行士を選抜し、訓練し、能力維持や健康管理をするシステム、さらには宇宙飛行士の活動を支える「きぼう」や「こうのとり」の管制チームなどトータルなシステムがあってこそ実現できたものです。私たちはアメリカやヨーロッパに比べてかなり少ない人数とお金でこのシステムを作り上げ、うまく機能できるようにしてきました。この財産を今後さらに有効に使っていきたいと思っています。

――「きぼう」利用で最近の話題として、超小型衛星に関する国連との提携がありますね。

**浜崎**　超小型衛星の放出は「きぼう」だけが持つ能力です。普通、このような小さな衛星はロケットのフェアリングの中に入れて、大きな衛星と一緒に打ち上げますが、「きぼう」から放出する超小型衛星の場合は、衛星をフェアリングの中の「こうのとり」の中のエアバッグに、緩衝材にくるんで入れます。つまり四重の遮蔽の中に入っていますので、振動など打ち上げ時の環境は非常に楽になります。今回、国連と協定を結び、これまで衛星を作ったことがないけれども宇宙分野に参加したい発展途上国などにも利用していただくことになりました。国連が募集をし、JAXAが放出する試みを3年間続けます。非常に多くの国から期待が寄せられているとうかがっています。

――世界各国への貢献も、「きぼう」利用の方向性の1つでしょうか。

**浜崎**　ISS計画にはご批判もありますが、そのような方でも多くの方がISS計画参加による国際貢献については高く評価していただいています。これだけ大きな計画にアジアでは日本だけが参加し、日本のプレゼンスを国際社会に示すことができていますし、日米協力のシンボルにもなっています。私たちはこれをさらに強化し、アメリカと協力をして、ISSをアジア諸国あるいはその他の国のためにどんどん使っていこうと考えています。

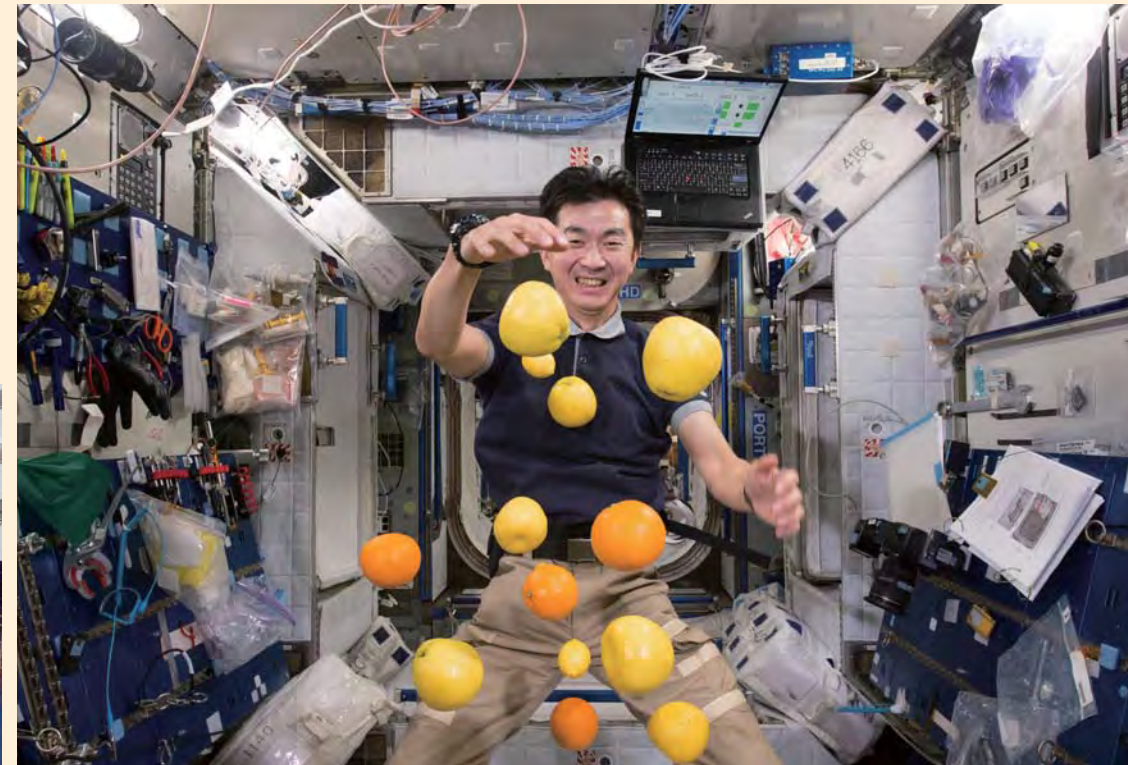
### 将来の月や火星探査に向けた研究開発も重要

――NASAなどではすでに月や火星への有人探査を目指す技術の開発を進めています。JAXAにとって少し先を見据えた研究開発も必要と思いますが、いかがでしょう。

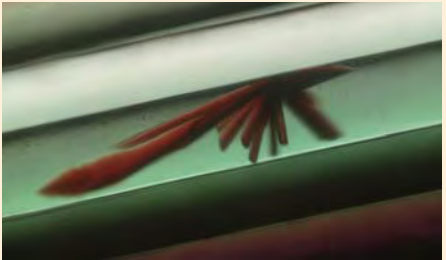
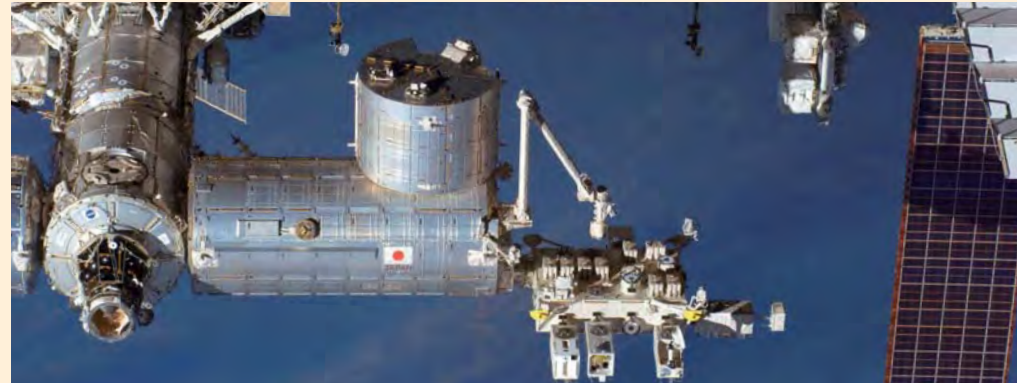
**浜崎**　非常に重要なポイントだと思います。有人月探査や有人火星探査に向けて各国が技術開発でしのぎを削っている中、私たちも将来必要な技術の開発をどんどん進めていく必要があります。例えば、ISSでは今、アメリカとロシアの宇宙飛行士が1年滞在の実験を行っていますが、私たちも宇宙で長期間の健康維持ができるような能力を蓄積していきたいと思います。また、ISSでは水を再生して使っています。今はその装置をアメリカとロシアに頼っています。しかし日本の企業は非常にすぐれた技術をいくつももっており、私たちはそれらを使って今の4分の1のサイズ、2分の1の電力で水再生ができる装置を開発しています。

将来の月や火星の有人探査は、各国が役割を分担して参加する国際協働で行われると思います。ですから、キーになる技術をもっていることは非常に重要なのです。

――将来の宇宙探査に関しては、国際的にどのような議論がなされていますか。

**浜崎**　ISEF（国際宇宙探査フォーラム）という組織で、各国の閣僚級レベルの検討が行われています。2016年または2017年には第二回会合が日本で開催される予定で、私たちはそれまでに政府に十分な情報を提供していきたいと考えています。また、ISECG（国際宇宙探査協働グループ）では、宇宙探査のロードマップや各国がどのような技術を提供できるかが具体的に検討されています。私たちとしては、これらに重点的に取り組みたいと考えています。

――最後になりましたが、JAXAは今年、国立研究開発法人となりました。

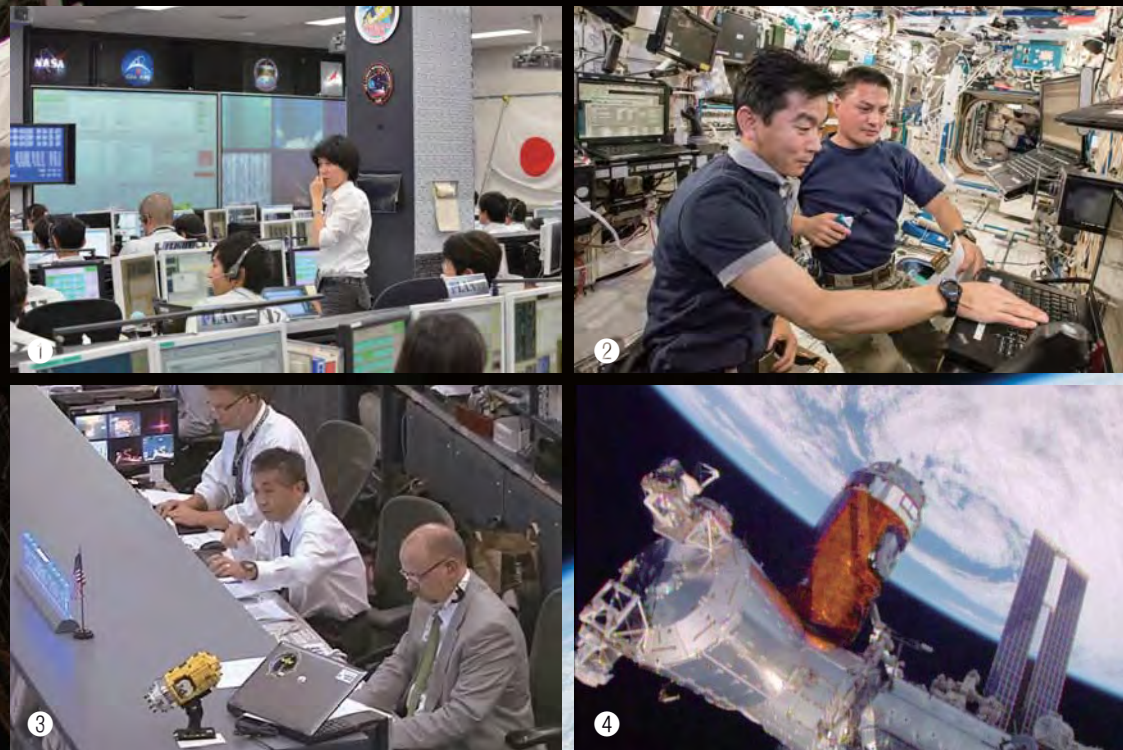
**浜崎**　私たちに非常に大きな変化が求められていると考えています。常に先を見て、社会が必要とする技術を積極的に高め、貢献することが求められているわけです。30年ほど前、「私たちは宇宙ステーションを作り、そこに日本人を送って仕事をしてもらう時代を目指しているのです」と言っても、ほとんど絵空事としてしか受け止められませんでした。ところが今では、日本人宇宙飛行士が宇宙にいるのは当たり前の時代になりました。世の中の動きは早く、むしろ私たちの方が皆様の意識に追い抜かれてしまった気がしています。もう一度初心に立ち帰って、20年先、30年先を考え、世の中の役に立つ技術をしっかり開発していくことが大事だと思います。

千葉工業大学の流星観測衛星（S-CUBE）を「きぼう」から放出した様子。

宇宙で得られたタンパク質の結晶（顕微鏡観察画像）。

画像：JAXA/NASA

# チーム・ジャパンで「こうのとり」5号機をつかまえた！

**国際宇宙ステーション（ISS）に物資を運ぶ「こうのとり」5号機は、無事ISSに到着しました。「こうのとり」はISSのロボットアームで宇宙船をつかまえる「ランデブー・キャプチャ」方式をとっています。筑波とヒューストン、そしてISSを結んで「こうのとり」5号機をつかまえた模様をお伝えします。**

取材：寺門和夫（科学ジャーナリスト）

ISSのロボットアームでキャプチャされた「こうのとり」5号機

1.「こうのとり」5号機のキャプチャに臨む筑波宇宙センターの「こうのとり」運用管制室。中央は松浦真弓リードフライトディレクタ。
2.油井宇宙飛行士とリングリン宇宙飛行士。この写真は「こうのとり」キャプチャの軌道上でのシミュレーション訓練の様子。
3.ヒューストンにあるNASAのISS管制センターでは若田宇宙飛行士が通信担当のリーダーをつとめた。
4.ISSに結合された「こうのとり」5号機

画像：JAXA/NASA

2015年8月19日に種子島宇宙センターから打ち上げられた宇宙ステーション補給機「こうのとり」5号機（HTV5）は順調に飛行を続け、8月24日15時58分（日本時間、以下同じ）、国際宇宙ステーション（ISS）の後方5kmの接近開始点（AI）に到達しました。

「こうのとり」4号機の打ち上げから2年。松浦真弓HTV5リードフライトディレクタがひきいる筑波宇宙センターの「こうのとり」運用管制チームは、前回のランデブー・ドッキングを経験していないメンバーが全体の4分の1という編成となり、数多くの訓練を繰り返して、この日に臨みました。「こうのとり」運用管制室はすでにヒューストンにあるNASAのISS管制センターとの統合運用に入っています。ヒューストンでは、若田光一宇宙飛行士がISSへ指示を伝える通信担当のリーダーをつとめていました。一方ISS上では、ロボットアームで「こうのとり」をキャプチャ（把持）する役割の油井亀美也宇宙飛行士がスタンバイしていました。

筑波からコマンドが送られ、「こうのとり」はいよいよISSへの最終接近を開始しました。17時01分、ISSの真下500mのポイントに到着。「こうのとり」はここからゆっくりと上昇していきます。ISSから250m、さらに30mのポイントで停止して安全を確認し、19時22分、「こうのとり」はISSの真下10mで静止しました。

「こうのとり」運用管制室からヒューストンに「HTV is GO for capture」の連絡が送られました。「「こうのとり」は所定の位置に到着し、すべて正常。準備完了」という報告です。これを聞いた若田宇宙飛行士はすぐに「GO for capture」（キャプチャせよ）の指示をISSに送りました。ISSからは、油井宇宙飛行士のサポートを担当しているチェル・リングリン宇宙飛行士から、「これからHTVのキャプチャを行います」という応答がはいりました。

油井宇宙飛行士はISSのロボットアームの先端部を「こうのとり」のグラップルフィックスチャ（ロボットアームでつかむための個所）に向けて接近させていきます。アームの先端が数mまで近づいたところで、「こうのとり」は姿勢制御用のスラスタを停止させ、フリードリフト状態に入りました。フリードリフト状態の「こうのとり」はゆっくりと動いていくため（慣性の法則）、90秒以内にキャプチャを行わなくてはなりません。

与えられた短い時間の中で、油井宇宙飛行士は手際よく「こうのとり」をキャプチャしました。19時29分。世界が見守る中、チーム・ジャパンで「こうのとり」をつかまえた瞬間でした。

油井宇宙飛行士はキャプチャ成功後、「おかげさまでしっかりと仕事ができて、キャプチャすることができました。日本人であることを誇りに思いますし、チームを誇りに思います」というメッセージを地球に送ってきました。また、若田宇宙飛行士は「日本のものづくりの技術、そして宇宙と地球の国際運用チーム全員の情熱と素晴らしいチームワークの力で「こうのとり」が無事に到着したことをうれしく思います」と語りました。

その後、「こうのとり」はISSのハーモニー（第2結合部）に結合されました。結合作業は、翌25日午前2時28分に完了しました。

航空輸送の世界を広げる電動航空機の可能性

# 「FEATHER（フェザー）」の飛行実証試験の成功で見えてきた! 次世代航空輸送の世界

2012年より3年にわたって行われた電動航空機「FEATHER（フェザー）」（航空機用電動推進システム技術の飛行実証）は、2015年2月有人飛行試験に成功しました。研究チームを率いてきた西沢啓主任研究員に、電動推進システムが開いていく日本の航空輸送の新しい可能性についてお聞きしました。

取材：笠原次郎

## 電動推進システムで飛行機を「安く」「安全」な乗り物に

――「FEATHER」の概要と目的についてお話しください

**西沢**　航空機にとって電動推進システムは、燃費や整備費を大幅に削減できる革新的な技術の候補です。ただしリチウムイオン2次電池の性能が高くなってきたとはいえ、化石燃料に比べて重量あたりのエネルギー容量が小さいのが実情です。また、レシプロエンジン（※1）と比べると電動モーターの方が効率も高くて軽いのですが、ガスタービンエンジン（※2）と比べるとまだ重量当たりの出力が足りません。そのため、現時点では大型の旅客機ではなく、小型レシプロ機（※3）の代替用途として実用化が検討されています。

小型レシプロ機は「運用コストの高さ」と「安全性」という課題を抱えています。これを解決する電動推進システムを開発し、既存のモーターグライダー（小型航空機の一種）に搭載して、技術を実証する、というのが「FEATHER」の目的でした。

また、日本には電動航空機の開発の際に必要となる有人飛行試験の飛行許可取得のノウハウがありませんでした。そこで今回JAXAが前例となって、後続の企業や大学の電動航空機開発を促進していこう、という目的も持っていました。

## すべては航空機の安全性向上のために

――「FEATHER」に採用されたJAXA独自の技術についてお話しいただけますか?

**西沢**　JAXA独自の技術で開発したものの1つは「多重化モーター」です。これは、電動モーターの信頼性を高める技術として開発されています。

具体的には、4つの電動モーターを直列に結合し、1つのプロペラを回転させるというもの。モーターのいずれかが故障を起こしても、残ったモーターが必要な推力を出せる仕組みになっています。これにより、単発（エンジン1基）レシプロ機の墜落事故の原因の一つである、エンジン停止のリスクを回避することができます。レシプロ機でこのリスクを回避しようとすると双発（エンジン2基）化が必要ですが、「多重化モーター」は単発のままで、双発機以上の安全性が確保できているといえます。

もう一方の独自技術は「回生エアブレーキ」です。ブレーキをかけたときに発電を行うことは、ハイブリッド自動車でもおなじみですが、我々は同じことを航空機でやろうとしました。

通常のモーターグライダーは、主翼に装備されたエアブレーキを降下時に展開して降下速度（降下角）を増すのですが、「FEATHER」ではプロペラの空気抵抗で降下角を増していきます。このとき、プロペラが風を受けて回る力を使って発電も行います。これらは、今の技術ではハードウェア的には特に難しいことではありませんが、JAXAの技術の独自性は、この「電力回生」と「エアブレーキ」の2つの操作を、パワーレバー1つでコントロールできるようにしたところにあります。

パワーレバーをニュートラル位置より前に押すと「出力増加」、後ろに引くと「回生＝ブレーキ」に入るという構造で、レバーを引く量により「回生量＝ブレーキ量」を自在に変化させることができます。この操作のうち、出力増加側は例え機体が地上で停止していてもレバー操作通りの出力が得られますが、回生側は機体速度がゼロならば回生量もゼロと機体速度に大きく依存するため、単純にレバー位置だけで回生量を決めることができません。といって、機体速度の計測値を用いて制御するのでは、速度計の応答性の悪さや故障の影響を受けてしまいます。JAXAの技術では機体速度の計測値を用いることなく、その機体速度で得られる最大の回生量を常にレバー操作のみで指定できるようにしたところがポイントで、この結果パワーレバー1つでコントロールできる「回生エアブレーキ」が実現できました。

これにより、今までエアブレーキとパワーレバーの2つの操作を行っていたパイロットの着陸時の操縦負荷も軽減され、安全性の向上にも繋がります。

実証試験では、パイロットの操縦負荷についてのデータの評価も行いました。

## タクシーの気楽さでエアライン並みに安全性を高める

――電動推進システムを搭載した小型航空機は、今後どういう用途で使われていくとお考えでしょうか。

**西沢**　空力性能があまりよくない小型機のレシプロエンジンを現在の電動推進システムに換装しても、100数十km程度の航続距離しか出せません。「FEATHER」で用いたモーターグライダーのように主翼が長く、空力性能の高い機体でないと、実用上リーズナブルな航続距離は実現できません。

欧米で現在市販が検討されている電動航空機は、レジャーやトレーニング用の機体です。この場合、飛行時間、航続距離は要求されませんので、従来のレシプロ小型機の機体でも十分なようです。ただし、ある程度の航続距離が必要な電動航空機を造るのであれば、主翼が長く空力性能の高い機体を設計していく必要があると思います。

現在のレシプロ機のような1000km程度の航続距離は、燃料電池を使用しないと難しいと思いますが、400～500kmの航続距離があれば、電動航空機にも十分な市場価値があるといわれています。この航続距離であれば、空力性能を高めた機体とリチウムイオン2次電池を使ったシステムで、十分実現可能です。

燃費や整備費用などの運用コストや安全性は、電動航空機のほうが優れているわけですから、このくらいの航続距離が実現できれば、電動小型航空機は「タクシーぐらいの値段」で利用でき、「エアライン並の安全性」が確保された新しい輸送システムとして、社会に広がるポテンシャルを持っていると思います。

## 他分野で培われた技術で電動航空機にイノベーションを!

――今後の日本の航空産業のなかで、電動推進システムはどのような形で発展していくとお考えでしょうか?

**西沢**　大型旅客機を頂点とすると、すそ野の小型機の分野が、電動推進システムなどの新しい技術によって広がっていくというのが、今後10年程度のビジョンだと考えています。

そのあとは、2次電池から燃料電池への移行によって航続距離が何倍にも伸び、大型化、高級化していくのではないでしょうか。

さらにその先になると、いくつかのブレイクスルーが必要でしょうが、旅客機クラスにも電動システムが適用されていくことになると思います。そのためには、モーターがガスタービンエンジンよりも軽くならないとだめでしょうし、燃料電池もより効率のよい高温で作動するタイプが適用されていくなど、さまざまな試みが行われ、淘汰されながら洗練されていくのではないかと思います。

未来の空港には、ジェット燃料の補給スタンドと電気スタンドや水素スタンドが並び、今よりも燃料消費量や運行コストが改善され、$CO_2$の排出量も下がり、飛行機を気楽に〝足〟として使える世界になっていくのではないでしょうか?

これら技術のタネは、自動車、エネルギー、ITなど、日本が高い技術力を誇る分野に既存の技術としてあるわけです。電動推進システムはこれらの技術との親和性が高いので、企業の方々には航空分野への応用を目指した開発研究をしていただきたいと思っています。

――最後にポスト「FEATHER」として、現在西沢さんが進めてらっしゃることを教えていただけますか?

**西沢**　技術移転や共同研究という形でFEATHER技術の展開を、国内と海外で進めていくことを検討しています。

また、小型の航空機だけでなく将来旅客機にまで適用していくとした時に、どういったシステムが理想的であり、一番本質的な技術課題は何なのか、といったことを概念的な設計のレベルで検討する作業も同時に進めています。システムの方式や重要技術課題がある程度絞りこめれば、課題を解決するための具体的な研究開発作業に入っていくことになります。

西沢 啓
NISHIZAWA Akira
次世代航空イノベーションハブ
主任研究員

※1 レシプロエンジン／ピストン運動から回転運動を生み出すエンジン。
※2 ガスタービンエンジン／高温のガスでタービンを回して回転運動を生み出すエンジン。航空機用ではジェットエンジンやターボプロップエンジンがこれに相当する。
※3 小型レシプロ機／レシプロエンジンを搭載した一人～数人乗り規模の小型航空機。

写真右：パワーレバー
左：「FEATHER」で使用された実験機（ダイヤモンド・エアクラフト社製モーターグライダーHK36TTC-ECO）。2015年2月に高度約600m、約17分の有人飛行に成功した。

JAXA独自技術の多重化モーター。直列に4つのモーターを繋げ安全性を確保している。

# 月や火星にみんなで行こう!

## 日本の宇宙探査活動を変える JAXAの新しい取り組み宇宙探査イノベーションハブ

**JAXA がスタートさせた宇宙探査イノベーションハブは、日本のこれからの宇宙探査に必要な技術を、企業、大学、研究機関の人たちと一緒に開発していく取り組みです。また、開発された技術を宇宙で使うだけでなく、地上での利用も促進し、日本の社会にイノベーションをもたらすことも大きな目標となっています。**

取材：笠原次郎、寺門和夫（科学ジャーナリスト）

――宇宙探査イノベーションハブの目的は何ですか。

**國中**　宇宙探査とは太陽系フロンティア開拓によって人類の生存圏・活動領域を拡大していく活動です。日本初の人工衛星「おおすみ」が打ち上げられたのは、1969年7月のアポロ11号の月着陸成功の半年後のことでした。それだけの技術格差から始まった日本の宇宙探査活動は、小惑星からサンプルを持ち帰った「はやぶさ」のように、今や世界に先駆けたミッションを成功させるまでになりました。しかし、アメリカ、ヨーロッパ、ロシアなどの国々に比べて、日本には宇宙予算規模が小さいなど不利な状況があります。日本が今後も世界の最前線で高度な宇宙探査を行っていくには、こうした不利な状況を逆転するような、すなわちgame changingな技術イノベーションが必要です。私たちは宇宙探査イノベーションハブの活動を通じてそのような新しい技術を開発し、同時に地上でのイノベーションも実現しようとしています。

――これまでJAXAが行ってきた研究開発とどこが違うのでしょうか。

**國中**　新たな産業が参加できる拠点をJAXAにつくり、これからの宇宙探査に求められる技術を産業界や大学、研究機関などの優秀な人材と一緒に開発していく点です。いわばオールジャパン体制で新しい研究開発を行うのが、宇宙探査イノベーションハブということになります。また、研究開発と技術の社会還元を直結させ、開発した技術を実社会で事業展開することも考えていきます。

JAXAは2015年4月に国立研究開発法人となり、国民経済の発展などに貢献するため、その研究開発活動で最大限の成果を確保することを求められています。国立研究開発法人を中核としたイノベーション創出は、国の「科学技術イノベーション総合戦略2015」の重点施策の1つです。私たちはJST（科学技術振興機構）のイノベーションハブ構築支援事業の予算を得て、この宇宙探査イノベーションハブの活動を進めています。

――今後の宇宙探査では、どのような技術が必要とされますか。

**國中**　私たちはこれまで、「重力天体へ自由・自在にアクセスする技術」や「特殊環境下での宇宙活動を行う技術」を開発してきました。前者は例えば、月や火星への着陸技術、後者は人工衛星や国際宇宙ステーションなど重力のない宇宙空間での活動技術です。これからの宇宙探査では、新たに「重力天体で持続的に探査を行うための技術」が必要になります。月や火星は過酷な環境であり、そこで活動を行うための探査機の開発には時間とコストがかかります。そのため、こうしたミッションへの参入者は少なく、新たな広がりや産業化が実現されていません。そこで、既存の概念にとらわれない設計思想や技術開発手法によって、革新的な技術を獲得したいと考えています。それを、これまでの枠にとらわれない様々なパートナーと一緒に行っていきたいのです。

**川崎一義**
KAWASAKI Kazuyoshi
宇宙探査イノベーションハブ
計画マネージャ


**國中 均**
KUNINAKA Hitoshi
宇宙探査イノベーションハブ ハブ長
宇宙科学研究所
宇宙飛翔工学研究系教授


――研究開発テーマの例を説明していただけますか。

**國中**　私たちが取り組もうとしている大きなテーマの1つは「スマート無人探査技術」です。これまでのような大型の探査機で1箇所の探査を行うのではなく、複数の小型探査機を協調させて広域探査を行う。そのためには地球からの指令を必要としない自動・自律型の探査機が必要でしょうし、昆虫型探査機のような新しい発想も必要です。2つめには「現地調達・高効率再生型の探査技術」を考えています。月や火星で持続的に活動を行うには、現地の資源を利用するための精製技術が必要です。省エネ、リユース・リサイクル技術なども必要になります。こうした分野では、日本の民間企業が持っている地球上での最先端の技術を宇宙に転用していくことが可能だと思っています。

――具体的にはどのような体制で運用されるのでしょう。

**川崎**　JAXAの相模原キャンパスを拠点にして、併任スタッフなどを含めて30人程度の規模で運営していきます。専用の研究棟を新設して、ここで各企業や大学、研究機関から提案され、採択された研究課題に合わせて研究開発を行うことになります。ハブでは異分野の方々との人材交流が促進されます。また、月や火星の環境を模擬した「探査フィールド」を作り、月着陸や火星の衛星からのサンプルリターンなどへ向けた様々な開発、実証実験も行なっていく予定です。今回の宇宙探査イノベーションハブでJAXAに求められているのは、研究開発手法の刷新でもあると考えています。

――今後のスケジュールはどうなりますか。

**川崎**　7月に神戸、東京、福岡の3箇所で第1回宇宙探査オープンイノベーションフォーラムを開催し、私たちの考えを皆様に説明させていただきました。今後行われるワークショップやアイデアソン、ハッカソンなどの参加型討議イベントにおいて、参加していただく各企業や大学などと課題分野に対する技術を検討し、年末ないし年明けには研究をスタートしていくことになります。

――企業や研究機関、大学などからのこれまでの反応はいかがですか。

**川崎**　今回参加を検討していただいた企業の多くは、これまで宇宙事業と直接関連がありませんでした。そのため、宇宙に興味は持っていても、宇宙探査のための研究開発というと敷居が高く感じられたところも多かったようです。イノベーションハブの大きな目的の1つは、社会にイノベーションを起こしていくことです。開発された技術を実際に宇宙に展開するのはJAXAが責任を持ってやっていきますので、独自の技術やアイデアをお持ちの方は気軽にチャレンジしていただけると嬉しいです。

**國中**　「宇宙で使う」という点ではJAXAにもいろいろな発想はありますが、「事業展開する」ということになると、私たちは不得意です。イノベーションハブの仕組みを理解していただいて、企業のみなさんがやりたいことを提案していただけるのをお待ちしています。たくさんの企業、大学、研究機関にイノベーションハブに参加していただき、宇宙関連事業のプレイヤーが増えていくことが、宇宙と地上でたくさんのイノベーションが生まれていくかぎになると思います。

### イノベーションハブの概念図

JAXA：宇宙利用のノウハウ ←（宇宙利用）― 重力天体上での自動・自立型技術 ―（事業展開）→ 企業：事業ノウハウ 販路

重力天体上での自動・自立型技術 ― 宇宙探査イノベーションハブ

JAXA：宇宙利用のノウハウとモチベーション → 宇宙探査イノベーションハブ

企業・研究機関・大学：最先端技術（例：自動運転や遠隔操作技術） → 宇宙探査イノベーションハブ

上左：2015年7月16日に東京で行われた第1回宇宙探査オープンイノベーションフォーラム。多くの企業・研究機関の方々に参加していただきました。
上右：宇宙探査イノベーションハブについて説明する奥村直樹JAXA理事長。

安全保障
防災
産業振興
フロンティアへの挑戦

# 地球温暖化=$CO_2$濃度を精密に測る観測衛星の日本力

## 7年目の「GOSAT(いぶき)」と準備が進む「GOSAT-2」

GOSAT研究用スパコン(左)とデーター処理システム(右)の前に立つ横田氏。

**全地球の二酸化炭素濃度を精密に測定するという世界初の目的を担い、2009年1月に打ち上げられた「GOSAT(いぶき)」。大気中の二酸化炭素はごくごくわずかな濃度でも大きな温室効果をもつが､大気中での濃度はおよそ2500分の1にすぎない。「いぶき」は、その二酸化炭素量の増加を誤差1%以内の精度で観測することが目的だ。衛星設計寿命は5年だが、トラブルがあっても回避できる幾重もの冗長系を込めた画期的な設計思想のおかげで、観測は7年目に入る健闘ぶり。そして、後継機「GOSAT-2」は2017年度に打ち上げ予定だ。「いぶき」の観測データの解析や世界の研究者への提供などを担ってきたプロジェクトの要、国立環境研究所の横田達也さんに久々に会った。**

取材:山根一眞(ノンフィクション作家)/写真:山根事務所

2017年度打ち上げ予定のGOSAT-2。

横田達也
YOKOTA Tatsuya
国立環境研究所・地球環境研究センター
衛星観測研究室 室長

──産業革命開始前の二酸化炭素濃度は280ppm。化石燃料の大量消費で2013年頃からその量が400ppmに達したという報道が出るようになりました。

横田　それは地上の観測ポイントでのデータで、全地球の平均濃度を観測してきた「いぶき」によれば、400ppmを超えるのは今年の冬から来年の春になりそうです。

──温室効果ガスによる温暖化が強く疑われる大きな気候変動が世界中で起こり始めているだけに、「いぶき」の役割はますます大きいと実感しています。

横田　じつは、2014年5月に二翼のうちの片側の太陽電池パドルが故障して観測が止まったんです。設計寿命を超えて以降の問題発生です。しかしトラブルが起こっても細々としてでも動き続ける幾重ものの「冗長系」の設計のおかげで復帰。まだ数年は観測可能でしょう。

──それはよかった！　JAXAの技術力に感謝です。それにしても、もともとごくごく微量の大気中の二酸化炭素濃度を測定するのは超難しいと言われていましたよね。

横田　欧州も「いぶき」と同じような計画があったんですが、「高い精度での二酸化炭素濃度の観測は不可能」としてプロジェクトを中止したほど難しいんです。しかし日本は、独自に開発した「フーリエ変換分光器」というセンサーでそれを可能にしました。観測データはここ、国立環境研究所にある専用のクラスタコンピュータで処理していますが、非常に難しいアルゴリズム(計算と解析手法)が必要です。打ち上げ後に「まだきれいなデータが出ないのか」と言われることがありましたが、望ましいアルゴリズムを求める努力は今も続いているんです。

──米国が「いぶき」の直前に打ち上げた二酸化炭素観測衛星「OCO」は軌道に投入できず失敗しましたね。

横田　そのプロジェクトチームが、「いぶき」のデータを使い二酸化炭素観測のアルゴリズムの開発に情熱を注いでくれたという国際協力も、「いぶき」にとってはありがたかったんです。彼らは、「OCO」の後継機の予算を得る必要もあって必死でした。

その「いぶき」のデータは世界に無償で公開、現在その第6回目の研究公募中ですが、参加国は日本も含めて24ヶ国。昨年にはつくば市で各国研究者が集まる6回目の研究成果会議も開催しました。

──「いぶき」が全地球規模の二酸化炭素観測の中心を担ってきたというのは、じつに頼もしい。その「いぶき」、高度666kmの宇宙から日照側で2万8000ポイントを観測し続けてきましたが、手応えは？

横田　現実は厳しくて、濃度を計算できるのは観測した地点の3%程度。まず、観測した場所に雲があると濃度は正確に計算できない。また、正確な濃度を知るためには標高差数十メートルの精度で「気圧」を精密に測らなくてはいけない。エアロゾル(大気中の煙状の微粒子)や雲など観測の障害物への対策も大きな問題です。アルゴリズムの確立には、地上での観測データとも比較しながらそれら邪魔物をデータからどうクリアするかが大きな課題です。森林破壊と温暖化を防止するための適切な対策を施すには、特に赤道上の熱帯雨林、アマゾンやボルネオ島、コンゴなどの観測が必須。二酸化炭素の排出権取引でも重要なエリアですから。しかし熱帯域は雲が多いためにきわめて測定しにくく、たとえばボルネオ島では過去6年間で数点しかデータが得られていません。

──それほど厳しいとは！　準備が進む後継機「GOSAT-2」は、その「いぶき」の経験をもとに観測能力を進化させる？

横田　「いぶき」は1観測領域の観測が陸域では1000kmのメッシュで、1ポイントの精度は誤差2ppmを達成していましたが、「GOSAT-2」では500kmのメッシュで観測精度は1ヶ月平均で0.5ppmが目標です。

「いぶき」は同一ポイントを3日に1回観測する衛星ですが、GOSAT-2は6日回帰。しかしその分、観測ポイントの間隔を狭く密にでき、データ数も倍以上に増えます。濃度の推定精度も大きく向上します。また、温室効果ガスである二酸化炭素とメタンのほかに一酸化炭素(CO)も観測して、高濃度の二酸化炭素が自然起源(森林火災などの不完全燃焼)によるものか人為起源(発電所や工場などの完全燃焼)によるものかも区別できるようになります。さらに、主要な都市の大気汚染の観測も対象に加えました。

◆　◆　◆

**「いぶき」も「GOSAT-2」も、これまでには例のないJAXAと環境省、国立環境研究所という3機関が共同で取り組むプロジェクト。日本が、地球温暖化を防ぐために欠かせない、しかしこれまでは得られていなかった重要な基本データを世界に提供するという大きな使命感を担った宇宙仕事だ。さらに次々世代である「GOSAT-3」の検討も始まっている。「環境ニッポン」の象徴として一層の奮戦を期待したい。**

天井

【全量炭素カラム観測ネットワーク(TCCON)つくばサイト】「いぶき」は太陽光が大気中の二酸化炭素などを通過する際に生じる赤外線波長の吸収量をもとに二酸化炭素などの濃度を測定している。ここは、その観測データの「検証」のため、太陽光を直接受けて測定を続けている地上施設。検証のため「いぶき」の軌道は必ずここの上空を通るようよう設定されている。

【「いぶき」の観測成果】過去6年間に観測した$XCO_2$(二酸化炭素濃度)の推移グラフ。青は北米、赤紫は豪州。全地球レベルで二酸化炭素濃度が右肩上がりであることを初めて全地球レベルで明らかにした。北半球では夏に森林による吸収が大きくなる季節変動もよくわかる。

【GOSATデータアカイバ】GOSATからリアルタイムで送られてくる「温室効果ガス観測センサ」による二酸化炭素とメタンの濃度、「雲・エアロゾルセンサ」によるデータを解析。これまでの観測データの蓄積は1ペタバイト(1テラバイトのハードディスク換算で1000個分)を超えた。

【アジア・オセアニア地球科学学会(AOGS)】2015年8月にシンガポールで開催。「いぶき」と「GOSAT-2」の発表・説明を行ったが、インドネシア森林火災によるエアロソルで深刻な影響を受けている国だけに注目を集めた。

【「GOSAT-2」用の計算機棟と管理棟】予定を超えて「いぶき」の運用が続いているため「GOSAT-2」用のスパコンなどのシステムを別途導入する必要が生じた。そのためのプレハブ棟の工事が進んでいる。

【「いぶき」公募研究者の会議】つくば市で開催された第6回会議の参加者。

【「GOSAT-2」のためのコンテナ型の地上検証サイト】熱帯や亜熱帯には検証サイトがほとんどないためコンテナに機材やシステムを積み込みまるごと現地に運ぶ。その準備が環境研究所の構内で進んでいる。設置地点の候補の一つはフィリピンのルソン島だ(資金供出元は環境省)。

# 研究開発の現場から

低毒性高性能推進薬スラスタ「PulCheR(プリキュア)」

## まるでへっぴり虫？ 低毒・低圧の推進システム

**現在の人工衛星に使われている推進システムには、いくつかの難点がありますが、「PulCheR(プリキュア)」はその問題を一掃する新しいシステム。
昆虫の習性にも似たしくみの画期的なこの技術の開発に、国際協力で取り組んでいます。**

取材:山村紳一郎(サイエンスライター)

プロジェクトマスコット

「PulCheR」のマスコットキャラクターは、へっぴり虫とも呼ばれるミイデラゴミムシ。天敵を威嚇するためにガスをお尻からパルス噴射する。そのしくみは驚くほどプリキュアそっくりだ。

ミイデラゴミムシが高温ガスを噴射するところ

### 低毒性で低圧貯蔵が可能な推薬を使った 高性能エンジンシステム

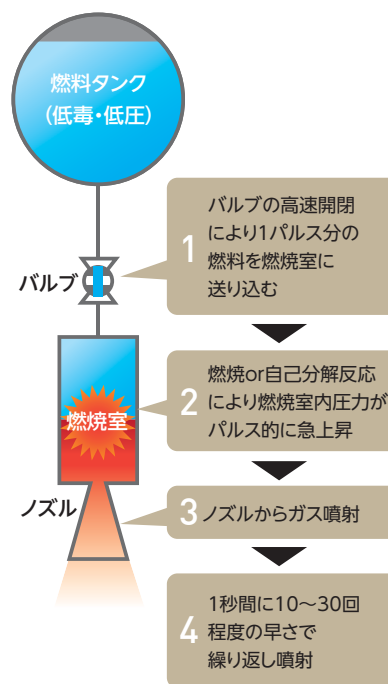
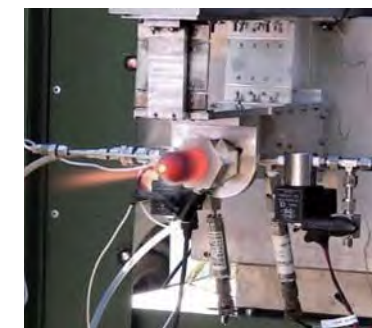
人工衛星には姿勢制御や軌道修正のための推進システムが必要です。これに使われる推進薬として現在一般的なのは、ヒドラジンという物質です。しかしヒドラジンは強い毒性を持つという難点があります。また高圧の燃焼室に推進薬を供給するために、20気圧近い高い圧力で貯蔵しなければなりません。そのため、衛星の推進薬充填の作業には防毒のための特殊スーツが必要ですし、圧力が高いために漏洩しやすく、安全確保に注意が必要です。また、高い圧力に耐える頑丈で重いタンクや配管などのため、衛星が重くなってしまうことも……。これらの問題点から、推進薬の毒性が低くかつ低い圧力で貯蔵できる新しい推進システムが望まれていました。「ポイントはパルス推進というコンセプトです。低圧で供給された推進薬を燃焼室でパルス的に燃焼させて高圧にし、推進力を得るのです」(畑井研究員)

推進薬は電子制御したバルブによって、毎秒10〜30回ほどの間隔で断続的に燃焼室に送られます。この方式であれば、推進薬を高圧で貯蔵しておかなくても燃焼室では高圧燃焼が可能です。推進薬には、毒性が低い過酸化水素水やプロピンが使われます。「低毒・低圧でありながら高性能なエンジンを実現するという点で、非常に新しい試みです」

### 人工衛星開発のハードルを下げ 宇宙をもっと身近に

「PulCheR」の開発は、ヨーロッパを中心にした国際プロジェクトで、JAXAはこの新システムのよりよい活用方法や運用上の課題、将来の可能性の検討を中心に、各国機関と連携して研究開発を進めています。「各国でのミーティングにも参加しています。お国柄の違いもありますが、それを乗り越えるのは、苦労だけでなくこのプロジェクトの楽しさでもありますね」

ヨーロッパでは今、衛星推進システム低毒化のニーズが高まっており、これは世界的な傾向でもあります。作業の安全性や効率、衛星の軽量化などに寄与するPulCheRは、近い将来に世界の宇宙開発で標準になりうる技術なのです。 さらに安全で簡便に作れるという利点から、衛星の開発や製造のハードルも下がるでしょう。「小型衛星などに積むなど、多方面で活用して欲しい。PulCheRは、宇宙をもっと身近にする技術だと思います」

現在は、3年計画の最終段階。コンポーネントごとの試験から全体を組み合わせての実証試験段階にさしかかっています。

バルブを高速開閉させて燃料を1パルス分だけ燃焼室に送り込む。燃料のプロピンは、これまで推進剤としては注目されていなかった物質。パルス推進が可能な反応性と、低圧(5気圧程度)で液化し貯蔵できる特徴を持つ。

**畑井啓吾**
HATAI Keigo
研究開発部門
第二研究ユニット
研究員


これまで推進エンジンについての研究に従事し、開発の全般に関わっているという畑井啓吾研究員。「PulCheRが、もっと手軽に使える衛星技術の実現につながれば嬉しいですね」

燃焼試験用エンジン



# JAXA最前線

INFORMATION 1

## 金星探査機「あかつき」の金星周回軌道投入は12月7日！ 約30%増の太陽からの熱入力など緊張が続く

イラスト：池下章裕

日本初の金星探査機「あかつき」は主推進器の破損により金星周回軌道への投入を果たせなかったが、あれからちょうど5年目の12月7日、再び金星周回軌道への投入に挑む。「はやぶさ2」の地球スイングバイのわずか4日後だ。

この5年間、「あかつき」は太陽を周回する軌道をまわってきたが、太陽に最接近時の太陽との距離は金星の約0・7AU(地球〜太陽の距離を1とする天文単位)に対して0・6AUと、より太陽に近かった。「『あかつき』が受ける太陽からの熱入力は想定より約30%増え、チンチンに熱くなっています。この5年、太陽電池パネルや高利得アンテナ、姿勢制御用スラスタなどの熱環境をずっとモニターし続けてきましたが、一部の機器は設計マージンを超える熱入力にさらされているので、油断できない状況です」(「あかつき」プロジェクトマネージャ、中村正人教授)

「あかつき」は主エンジンを失っているため、金星軌道への再投入には、トップ側とボトム側それぞれ四隅にある姿勢制御用エンジンのうちどちらかの側の4本で代替する。もっとも主エンジンと比べて推力は約20%のみだ。

12月7日、金星軌道への投入後は「あかつき」の後を金星が追いかける位置関係になる。そこで、金星をふり返り最初の画像を撮影することも考えられている。

投入に成功後の「あかつき」は、金星の厚い大気を3次元的に調べて、金星の気候を支配するメカニズムの解明に挑むほか、雷放電がおこっているかや、金星大気の温度構造を観測する予定。当初は30時間で金星を周回する計画だったが、きわめて大きな楕円軌道(軌道周期8〜9日)になる。当然、そのためのデメリットは多いが、大楕円軌道を活用し「金星上の大規模現象をとらえる観測」などを検討中だ。

取材：山根一眞(ノンフィクション作家)

INFORMATION 2

## 油井飛行士 交信イベント盛大に終了

8月7日夜、国分寺市南町にある東京経済大100周年記念館にて、国際宇宙ステーション(ISS)に滞在中の油井宇宙飛行士が、地上の小中学生の質問にリアルタイムで答える交信イベント「宇宙(ソラ)とつながる日」が行われました。イベントには、国分寺市、武蔵野、三鷹、小金井、国立の計5市の小中学生約1000人が参加し、子どもたちからは多くの質問が飛び交いました。宇宙との直接交信は約20分間との短い時間でしたが、油井さんが、「とても良い質問ですね」と感心する場面もあり、最後には宙返りのパフォーマンスも披露するなど、子どもたちにとっても非常に興味深いイベントとなりました。

JAXA's
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構機関誌
No.062

発行責任者●JAXA
(国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)
広報部長 上垣内茂樹
編集制作●株式会社ビー・シー・シー
2015年10月1日発行

# 世界初! 低ソニックブーム設計の超音速試験機の飛行成功

低ソニックブーム設計概念実証プロジェクト第2フェーズ試験（D-SEND#2）の飛行試験が、スウェーデン・エスレンジ実験場において、現地時間7月24日に実施されました。この試験において、超音速試験機が上空を超音速飛行し、試験機から発生したソニックブームを計測されていることが確認されました。

ソニックブームとは、超音速飛行時の機体から発せられる衝撃波が結合して、落雷に似た爆音を発生させる現象のことです。機体の先端・後端共に「低ソニックブーム設計概念」を適用した航空機形状の試験機による、超音速飛行及びソニックブーム計測の成功は世界初となります。

JAXAのD-SENDプロジェクトは、次世代超音速旅客機を実現するための最重要課題の1つと言われる、ソニックブームを低減するための、独自の「低ソニックブーム設計概念」の実証を目的としています。今後はこの試験で得た成果を詳細に解析し、ソニックブームの国際基準検討に貢献可能な技術やデータを提供していきます。



## 金井飛行士 国際宇宙ステーション（ISS）へ

JAXAは、金井宣茂宇宙飛行士を、ISS第54次/55次の長期滞在搭乗員に任命決定しました。2017年11月頃にロシアのソユーズ宇宙船で打ち上げられ、ISSには約6ヶ月間の滞在が予定されています。金井宇宙飛行士は、今回の長期滞在が初めての宇宙飛行となり、滞在中は、フライトエンジニアとしてISSの運用や宇宙環境を利用した科学実験などを担当する予定です。

### 宇宙航空プロジェクト募集特定寄附金制度

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、宇宙活動を応援してくださる皆様のお気持ちを研究開発に生かし、社会に貢献していきます。ご寄附はインターネット等から簡単に行っていただけます。

http://www.jaxa.jp/about/donations/index_j.html

■お問合せ先　JAXA寄附金担当 050-3362-6700
（受付時間 9:30～12:15、13:00～17:45）

### 『JAXA's』配送サービスをご利用ください。

ご自宅や職場など、ご指定の場所へ『JAXA's』を配送します。本サービスご利用には、配送に要する実費をご負担いただくことになります。
詳しくは下記ウェブサイトをご覧ください。

http://www.jaxas.jp/

JAXA Explore to Realize
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部 〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6 御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650 FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト http://www.jaxa.jp/
メールサービス http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/